

Incorporación de aceite usado de cocina en la fabricación de agregados cerámicos livianos

Incorporation of used cooking oil in the manufacture of lightweight expanded clay aggregates

EVELIN SOSA FABRÉ¹
evelinsosafabre@gmail.com
ORCID 0009-0006-1269-6924

ANABELLA MOCCIARO¹
amocciaro@cetmic.unlp.edu.ar
ORCID 0000-0001-7764-067X

NICOLÁS MAXIMILIANO RENDTORFF^{1 y 2}
rendtorff@cetmic.unlp.edu.ar
ORCID 0000-0001-8845-8494

¹Centro de Tecnología de Recursos Minerales y Cerámica (CETMIC-CONICET-UNLP-CIC PBA)

²Departamento de Química, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata

Recibido: 29-09-2023

Aceptado: 07-02-2024

Publicado: 14-08-2024

RESUMEN

Los agregados livianos (ACL) son materiales cerámicos producidos a partir de arcillas y otros materiales que durante el tratamiento térmico generan gases que quedan atrapados en los agregados provocando el aumento de su volumen. Este proceso de hinchamiento genera una estructura porosa y un material liviano, el cual lo hace muy versátil para distintas aplicaciones en ingeniería civil y/o ambientales. La incorporación de desechos de otros procesos productivos como materias primas de los ACL que produzcan generación de gases durante el procesamiento es un paso más en pos de cerrar los ciclos productivos y plantear los mismos desde una perspectiva de economía circular.

En este trabajo se realizaron ACL a partir de una arcilla local y aceite de cocina a escala de laboratorio y se evaluó el comportamiento térmico durante el procesamiento de estos materiales, su microestructura, morfología, grado de expansión, densidad, porosidad y absorción en agua.

Los resultados permiten confirmar la factibilidad y logran sentar las bases para la ingeniería conceptual en la fabricación de ACL mediante la estrategia propuesta. Del mismo modo permiten establecer criterios de procesamiento de estos ACL en cuanto a las adecuaciones de los materiales de partida, los rangos de formulación y los tratamientos térmicos definitivos.

PALABRAS CLAVE: arcillas expandidas, agregados livianos, aceite de cocina, economía circular.

ABSTRACT

Lightweight expanded clay aggregates (LECA) are ceramic materials produced from clays and other materials that during heat treatment generate gases that are trapped in the aggregates causing their volume to increase. This bloating process generates a porous structure and a lightweight material, which makes it very versatile for different applications in civil engineering and/or environmental intervention solutions. Incorporating waste from other production processes as raw materials for LECAs that release gas during thermal processing is a further step towards closing production cycles and approaching them from a circular economy perspective.

In this work, LECAs were made from a local clay and cooking oil at laboratory scale and the thermal behavior during processing of these materials, their microstructure, morphology, degree of expansion, density, porosity and water absorption were evaluated.

The results confirm the feasibility and provide the basis for the conceptual engineering in the manufacture of LECA using the proposed strategy. They also permit the establishment of criteria for the processing of these ACLs in terms of the suitability of the starting materials, the formulation ranges and the definitive thermal treatments.

KEYWORDS: expanded clays; lightweight aggregates; cooking oil; circular economy.



Introducción

Los agregados cerámicos livianos (ACL) son fabricados a partir de la extrusi n o aglomeraci n de arcillas pl sticas que durante el tratamiento térmico tienden a expandirse volumétricamente dando a lugar agregados de baja densidad. En algunas ocasiones se adicionan otros materiales que liberen gases (vapor de agua, CO₂, entre otros.) durante el tratamiento térmico, el cual queda atrapado por dentro del agregado obligando al material a expandirse. Este efecto de hinchamiento es deseado ya que genera una estructura interior porosa y por lo tanto un agregado de baja densidad (Ayati, Ferrándiz-Mas, Newport, y Cheeseman, 2018; Rashad, 2018).

En general, los ACL presentan una baja densidad con una alta porosidad y resistencia mecánica. Por este motivo se utilizan en variadas aplicaciones. En la construcción civil, en la elaboración de bloques de hormigón liviano (Bicer, 2021; Ozguven y Gunduz, 2012; Rodrigues y Bragança, 2023), en remediación de aguas como absorbente y también en el drenaje de aguas superficiales y subterráneas (Dordio y Carvalho, 2013; Mlih et al., 2020; Nkansah, Christy, Barth, y Francis, 2012).

Mundialmente se generan más de 15 millones de toneladas de aceites vegetales al año los cuáles son utilizados principalmente en la cocción de alimentos (Mannu, Ferro, Pietro, y Mele, 2019). El aceite usado produce grandes complicaciones para su deposición final debido a la contaminación del suelo y del agua y a la perturbación del ecosistema que produce esta sustancia. La economía circular plantea principalmente la disminución de la generación de residuos y la permanencia de los materiales y productos en los ciclos de producción y uso. En este sentido, un aspecto fundamental es la incorporación de desechos de ciclos productivos como materias primas en nuevos ciclos productivos (Morseletto, 2020). Este posicionamiento genera la oportunidad de explorar nuevas materias primas pensando en clave de cerrar bucles para pasar de sistemas de producción lineal a sistemas de producción circular. Considerando lo anteriormente mencionado nos motiva estudiar la utilización de aceite de cocina usado como materia orgánica para la generación de gases durante el tratamiento térmico, los

cuales generen el efecto de hinchamiento buscado en los ACL.

El objetivo de este trabajo es estudiar la factibilidad en la incorporación de aceite de cocina usado en la fabricación de los ACL. Para ellos se fabricaron agregados con y sin aceite en su composición y se caracterizó el comportamiento térmico de los materiales. Se evaluó la expansión volumétrica, la morfología y la microestructura; así como también propiedades tecnológicas: densidad, porosidad y absorción de agua. Estos estudios permitirán confirmar la factibilidad y lograrán sentar las bases para la ingeniera conceptual para la fabricación de ACL mediante la estrategia propuesta. Del mismo modo permitirán establecer criterios de procesamiento de estos ACL.

Materiales y métodos

Materias primas

Se usaron como materia prima de los agregados arcillas provenientes de una cantera de la zona de La Plata, actualmente utilizada por una fábrica de ladrillos huecos. Como material generador de gases para favorecer el hinchamiento del agregado se utilizó aceite de girasol comercial.

Caracterización de las materias primas

Inicialmente se determinó la composición química de la arcilla con la técnica ICP-OES en un laboratorio externo (ALS, Geology). También se identificaron las fases cristalinas por medio de difracción de rayos X (DRX) con un difractómetro Bruker D8 Advance A25. Se utilizó radiación CuK  (1,5418  ) y filtro de Ni a 40 mV y 30 mA. El barrido se realizó entre 3  y 70 , con un paso de 0,02  y un tiempo de conteo de 0,5 s /paso.

Se estudi  el comportamiento térmico de la arcilla y de una mezcla arcilla con un 5% p/p de aceite desde temperatura ambiente hasta 1100  C con una velocidad de calentamiento de 10  C/min. El ensayo se realizó en un equipo Rigaku EVO2 Plus con corriente de aire y  lmina como material de referencia.

Procesamiento

Se realizaron agregados con 0, 2,5 y 5 % p/p de aceite, denominados A-0Ac, A-2,5Ac y A-

5Ac respectivamente. Primero se formó una pasta con una emulsión de agua y aceite. Los agregados se realizaron a partir de una pasta de arcilla con una emulsión de agua y aceite, la misma fue extrudada y luego cortada y redondeada en esferas de aproximadamente 1 cm de diámetro.

La calcinación de las esferas se realizó en un horno eléctrico el cual estaba previamente calentado a 1100  C, se introdujeron las esferas en la cámara del horno en el cual permanecieron durante 10 minutos y luego se enfriaron de forma natural.

Métodos de caracterización de los ACL

Luego del tratamiento térmico se identificaron las fases cristalinas de los agregados por DRX bajo las mismas condiciones mencionadas anteriormente. Se evaluó el cambio volumétrico (ΔV) calculado según la ecuación 1, en dónde V_f es el volumen final del agregado después de la calcinación y V_i el volumen inicial del mismo previo a la calcinación.

$$\Delta V = \frac{V_f - V_i}{V_i} \times 100\% \quad (\text{eq. 1})$$

Se analizó la morfología a partir de la medición de la esfericidad y redondez por medio de una tabla de comparación visual (Hincapié Henao y Montoya G ez, 2012) y se evaluó su microestructura (Ponce, 2003) con una lupa binocular Leica SAPO.

Como propiedades tecnológicas se determinó por quintuplicado la densidad, el porcentaje de absorpci n de agua y la porosidad de los agregados por el método de Arquímedes con agua como líquido de inmersión.

Resultados y discusión

Análisis térmico y mineralógico de las materias primas

El análisis químico que se muestra en la Tabla 1 de la arcilla determinó que las mismas poseen un alto porcentaje de sílice (SiO_2) con el 62,8 % p/p y el segundo óxido predominante es la alúmina con un valor cercano al 15 % p/p. Este tipo de arcillas se clasifican como gres rojo por su alto contenido de hierro y son utilizadas con aplicaciones cerámicas (Michele Dondi, Raimondo, y Zanelli, 2014).

Tabla 1. Composición química y pérdida por calcinación de la arcilla.
Table 1. Chemical composition and loss of ignition of the clay.

Oxide	% m/m
SiO_2	62,8
Al_2O_3	15,05
Fe_2O_3	5,1
CaO	2,27
MgO	1,38
Na_2O	2,01
K_2O	2,25
TiO_2	0,76
MnO	0,1
Pérdida por Calcinación	9,17

La Figura 1 muestra el patrón de difracción de la arcilla extraída de la cantera, se observó la presencia de los picos característicos de cuarzo, illita, plagioclasa, feldespato y calcita.

Las fases identificadas se corresponden con el análisis químico (tabla 1) y el tipo de arcilla mencionado anteriormente.

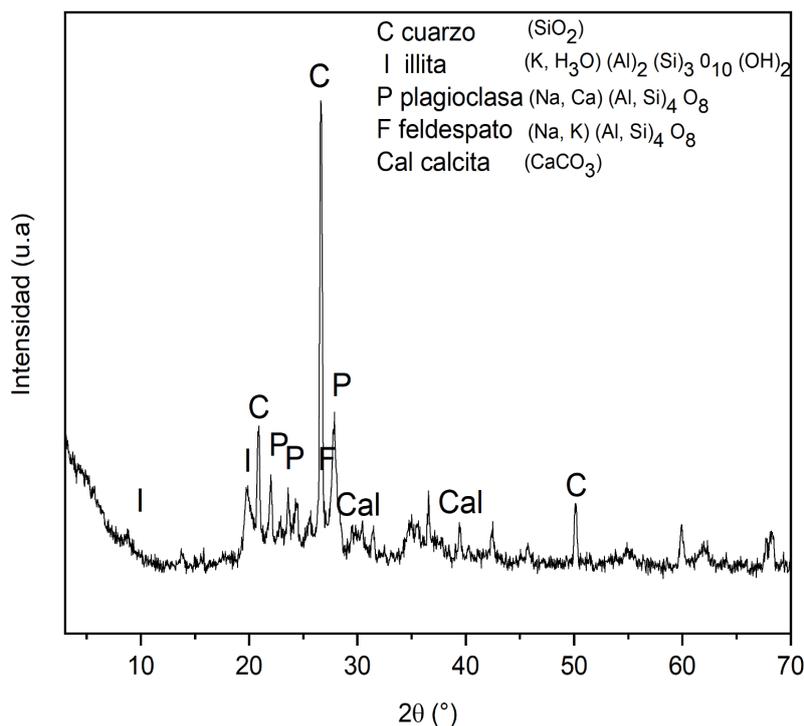
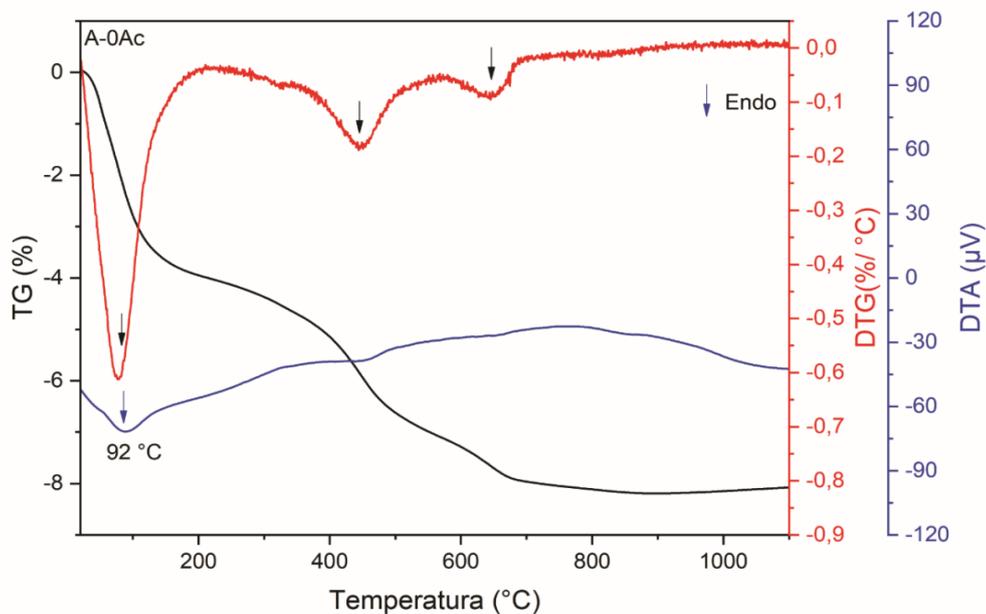


Figura 1. Patrón de rayos X de la arcilla.
Figure 1. X-ray pattern of the clay.

La variación porcentual de masa y los cambios endotérmicos y/o exotérmicos que presentan las muestras A-0Ac y A-5Ac durante el tratamiento térmico se muestran en la figura 2. En ambas muestras se observa antes de los 100  C una pérdida de masa de alrededor

de 5% con un pico endotérmico asociado con la liberación del agua superficial de las mismas. En el caso de A-0Ac el pico se ubica a los 92  C mientras que en la muestra A-5Ac a los 55  C.



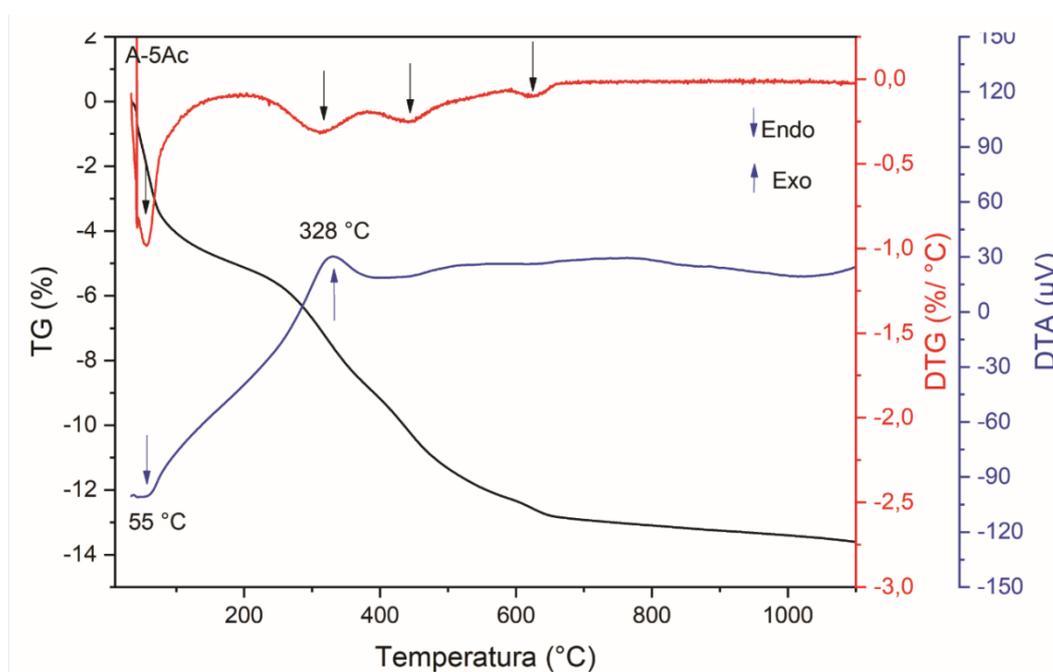


Figura 2. Curvas de ATD-TG-dTG de las mezclas A-0Ac (a) y A-5Ac (b).
Figure 2. DTA-TG-dTG curves of A-0Ac (a) and A-5Ac (b).

Por otro lado, en la muestra A-5Ac se observa un pico exot mico a los 328 °C que se relaciona con una pérdida de masa en la curva TG de $\approx 5\%$, esto se debe con la combustión de la materia orgánica (Maritan, Nodari, Mazzoli, Milano, y Russo, 2006; Toledo et al., 2004).

En el rango de temperatura entre 400 y 700 °C se observan en ambas muestras dos picos en la curva dTG vinculados con la pérdida de agua estructural de las arcillas, siendo de alrededor de 4 % para la muestra A-0Ac y 6 % para la muestra A-5Ac. A su vez, esto se solapa con la descarbonatación de la calcita que ocurre después de los 700 °C (Serra, Conconi, Suarez, Agiatti, y Rendtorff, 2013).

Evaluación de los ACL luego del calcinado

El patrón de difracción de la muestra natural y con la incorporación del aceite en distintas

proporciones luego del calcinado a 1100 °C se presenta en la figura 3. Las fases de cuarzo y de plagioclasa continúan presentes luego del tratamiento térmico.

A su vez, se identifican picos correspondientes a la neoformación de la hematita observado en la literatura en arcillas similares (Grzeszczyk y Janus, 2020). La calcita y la illita no se encuentran presentes luego de esta temperatura de calcinado debido a los procesos termoquímicos que ocurren en estas fases ya explicados anteriormente en el análisis térmico. Por otra parte, los picos asociados con el feldespatos no se encuentran presentes debido a que entre los 900 y los 1100 °C se disuelve en la fase amorfa. Esto puede distinguirse en los patrones de rayos X (figura 3) como una banda entre 15 y 40 ° (Bernasconi, Marinoni, Pavese, Francescon, y Young, 2014; Sosa Fabr , Mocciaro, Conconi, y Rendtorff, 2022).

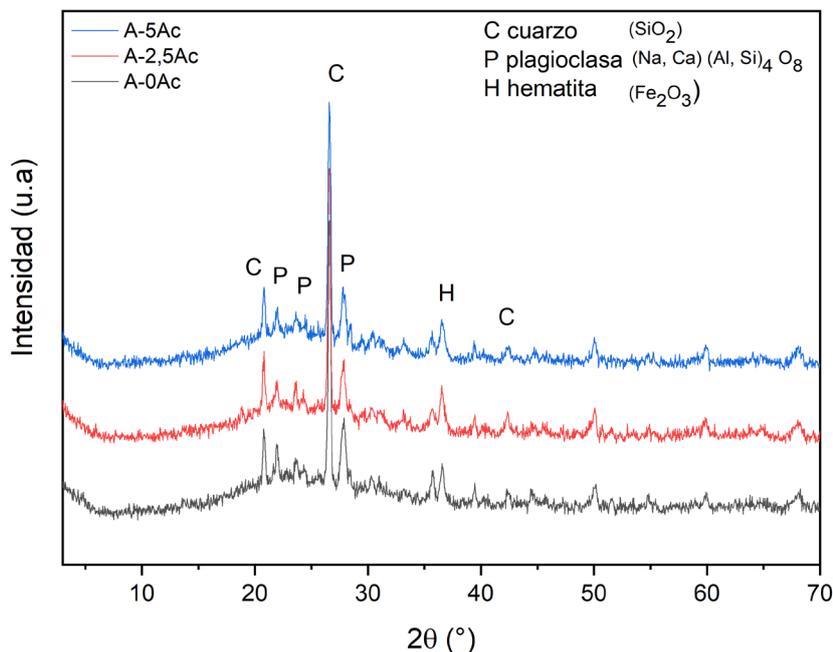


Figura 3. Patrón de rayos X de los agregados después de la calcinación a 1100  C.
Figure 3. X-ray pattern of aggregates calcined at 1100  C.

Tabla 2.  ndice de expansión y morfología de los agregados.
Table 2. Expansion index and morphology of the aggregates.

Muestra	Esfericidad	Redondez	�ndice de expansión	
A-0Ac	sub prismático	bien redondeado	no expande	
A-2,5Ac	esférico	bien redondeado	180 (30)	
A-5Ac	sub prismático	bien redondeado	280 (70)	

En la Tabla 2 se detalla la morfología y el índice de expansión de los agregados. Todos los agregados presentaron una forma bien redondeada, las diferencias en cuanto a la esfericidad de los agregados se debería al proceso de conformación del mismo y no depende de la formulación de la pasta. Los agregados A-0Ac no presentaron expansión, la incorporación de aceite actu  como un precursor del proceso de hinchamiento. Se

observó que a mayor agregado de aceite mayor índice de expansión presentaron los agregados.

En la Figura 4 se compara la morfología resultante de los tres agregados y el interior de los mismos luego del tratamiento térmico por medio de imágenes tomadas con lupa binocular.

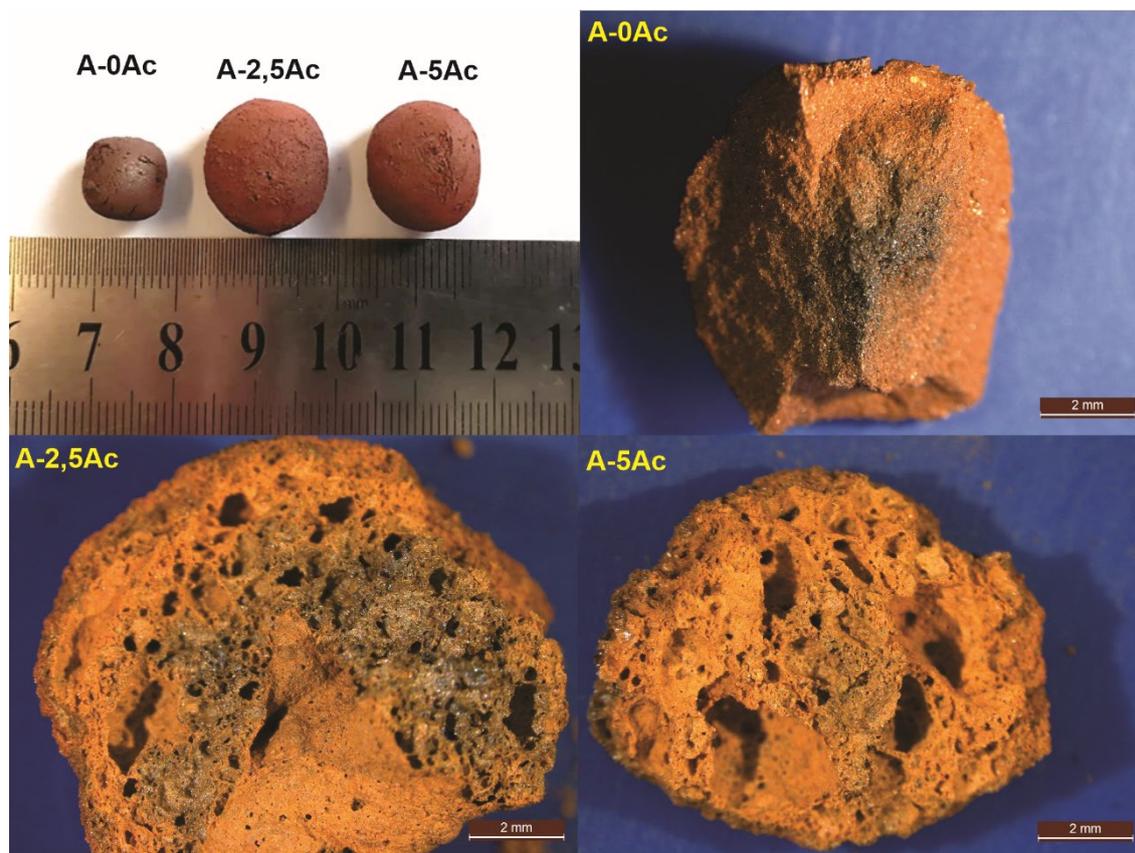


Figura 4. Imágenes de lupa binocular de los agregados A-0Ac, A-2,5Ac, A-5Ac.
Figure 4. Digital images of A-0, A- 2,5Ac, A-5Ac aggregates.

El agregado A-0Ac no presenta porosidad visible a simple vista y se observa la presencia de un corazón interno negro, esto evidencia la falta de oxígeno en algunas zonas durante la calcinación lo cual posibilita a que se produzcan reacciones en una atmósfera reductora como es la reducción de Fe_2O_3 a FeO (Chien, Show, Huang, Chang, y Lee, 2020; Sosa Fabr  et al., 2022).

Los agregados A-2,5Ac y A-5Ac presentan el desarrollo de una textura vesicular interna con una heterogeneidad en el tamaño de poros, los cuales fueron medidas con el software Imagej (Papadopulos et al., 2007), esta herramienta permitió medir poros de 0,05 hasta 4,5 mm. A su vez, se puede diferenciar una capa externa debido al contraste en el tamaño de poro (menor en esta zona) respecto del resto agregado. La muestra A-2,5Ac presenta mayor desarrollo de corazón negro, en cambio en A-5Ac es prácticamente imperceptible.

Según la bibliografía, los agregados cerámicos livianos pueden clasificarse en cuatro grupos en función de su densidad aparente:

densidad muy baja ($0,3-0,6 \text{ g/cm}^3$), densidad baja ($0,61-0,99 \text{ g/cm}^3$), densidad media ($1,0-1,4 \text{ g/cm}^3$) y densidad alta ($>1,4 \text{ g/cm}^3$) (M. Dondi et al., 2016). De acuerdo a los valores de densidad medidos (tabla 3), los agregados A-0Ac se clasifican como agregados de densidad alta; en cambio, los agregados A-2,5Ac y A-5Ac como de muy baja densidad. Las posibles aplicaciones, así como el precio de venta de los ACL, aumentan con la baja de densidad de los mismos (Ayati et al., 2018; Gao et al., 2022; Rashad, 2018; Soltan et al., 2016).

La incorporación de aceite de cocina en la formulación de los agregados produce el aumento de porosidad buscado y se ve reflejado en el aumento de los de porcentaje de porosidad abierta obtenidos en las muestras A-2,5Ac y A-5Ac respecto de A-0Ac. En consecuencia, esta elevada porosidad abierta se relaciona directamente con los porcentajes de absorción en agua medidos.

Una de las posibles aplicaciones para ACL con elevada absorción de agua y baja

densidad aparente es como soporte para las plantas (A'saf, Al-Ajlouni, Ayad, Othman, y St. Hilaire, 2020; Fakhfakh et al., 2007) y para drenaje en techos verdes debido a que

presenta una buena capacidad de retención de agua, aireación y reduce el peso adicional del techo (Kazemi, Courard, y Attia, 2023; Molineux, Gange, Connop, y Newport, 2015).

Tabla 3. Propiedades tecnológicas de los agregados.
Table 3. Technological properties of the aggregates.

Muestras	Densidad aparente (g/cm ³)	Porosidad abierta (%)	Absorción de agua (%)
A-0Ac	1,67 (0,05)	13 (1)	7,8 (0,8)
A-2,5Ac	0,58 (0,06)	44 (2)	76 (4)
A-5Ac	0,59 (0,06)	41 (6)	70 (3)

Se observa que la incorporación de 2,5 o 5 % p/p de aceite no modifica las propiedades tecnológicas evaluadas, con lo cual entre estos dos porcentajes sería indiferente cuánto aceite se incorpora. Desde el punto de vista de la reutilización de residuos de difícil disposición final estos resultados podrían ser favorables. Del mismo modo se puede inferir que tendrá leves beneficios energéticos la utilización de mayor porcentaje de aceite, si se tiene en cuenta el calor producido por la combustión del mismo que mitigar  el costo energético durante la fabricación de los agregados.

Conclusiones

A escala de laboratorio, en este trabajo se logró incorporar aceite de cocina, en la fabricación de agregados cerámicos livianos. La incorporación del aceite propició la expansión de los ACL debido a la liberación de gases durante el tratamiento térmico. Se logró describir este proceso y caracterizar los ACL elaborados desde el punto de vista estructural, microestructural, microscópico y morfológico.

La adición de un 2,5 y 5 % p/p de aceite no presentó diferencias significativas entre los valores de densidad, porosidad y absorpci n de agua de los dos materiales, lo cual infiere equivalentes comportamientos tecnológicos de los ACL desarrollados.

Los resultados permiten confirmar la factibilidad y logran sentar las bases para la

ingenieria conceptual para la fabricación de ACL mediante la estrategia propuesta. Del mismo modo permiten establecer criterios de procesamiento de estos ACL en cuanto a las adecuaciones de los materiales de partida, los rangos de formulación y los tratamientos térmicos definitivos.

En estos momentos nos encontramos realizando estudios de la factibilidad de aumentar mayores incorporaciones de aceite en la formulación de los ACL y diseñando el escalado a escala piloto del procesamiento de ACL en las instalaciones de nuestro Centro de Investigación.

Financiamiento

Este trabajo se financia por medio de la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT, PICT 2021-00392 and PICT 2021-00225) y la Facultad de Ciencias Exactas de la Universidad Nacional de La Plata (UNLP, X-904). E.N.S.F agradece por su beca doctoral al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET); A.M., y N.M.R. son miembros de CONICET, Argentina y docentes de la UNLP.

Referencias bibliográficas

A'saf, T. S., Al-Ajlouni, M. G., Ayad, J. Y., Othman, Y. A. y St. Hilaire, R. (2020). Performance of six different soilless green roof substrates for

- the Mediterranean region. *Science of The Total Environment*, 730, 139182. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139182>
- Ayati, B., Ferrándiz-Mas, V., Newport, D. y Cheeseman, C. (2018). Use of clay in the manufacture of lightweight aggregate. *Construction and Building Materials*, 162, 124-131. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.12.018>
- Bernasconi, A., Marinoni, N., Pavese, A., Francescon, F. y Young, K. (2014). Feldspar and firing cycle effects on the evolution of sanitary-ware vitreous body. *Ceramics International*, 40(5), 6389-6398. <https://doi.org/10.1016/j.ceramint.2013.11.139>
- Bicer, A. (2021). The effect of fly ash and pine tree resin on thermo-mechanical properties of concretes with expanded clay aggregates. *Case Studies in Construction Materials*, 15, e00624. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2021.e00624>
- Chien, C.-Y., Show, K.-Y., Huang, C., Chang, Y. J. y Lee, D. J. (2020). Effects of sodium salt additive to produce ultra lightweight aggregates from industrial sludge-marine clay mix: Laboratory trials. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 111, 105-109. <https://doi.org/10.1016/j.jtice.2020.04.018>
- Dondi, M., Cappelletti, P., D'Amore, M., De Gennaro, R., Graziano, S. F., Langella, A., Raimondo, M. y Zanelli, C. (2016). Lightweight aggregates from waste materials: Reappraisal of expansion behavior and prediction schemes for bloating. *Construction and Building Materials*, 127, 394-409. <https://hdl.handle.net/11588/646552>
- Dondi, M., Raimondo, M. y Zanelli, C. (2014). Clays and bodies for ceramic tiles: Reappraisal and technological classification. *Applied Clay Science*, 96, 91-109. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2014.01.013>
- Dordio, A. y Carvalho, A. J. P. (2013). Constructed wetlands with light expanded clay aggregates for agricultural wastewater treatment. *Science of The Total Environment*, 463-464, 454-461. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.06.052>
- Fakhfakh, E., Hajjaji, W., Medhioub, M., Rocha, F., Lopezgalindo, A., Setti, M., Kooli, F. F., Zargouni, F. y Jamoussi, F. (2007). Effects of sand addition on production of lightweight aggregates from Tunisian smectite-rich clayey rocks. *Applied Clay Science*, 35 (3-4), 228-237. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2006.09.006>
- Gao, W., Jian, S., Li, X., Tan, H., Li, B., Lv, Y. y Huang, J. (2022). The use of contaminated soil and lithium slag for the production of sustainable lightweight aggregate. *Journal of Cleaner Production*, 348, 131361. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131361>
- Grzeszczyk, S. y Janus, G. (2020). Reactive powder concrete with lightweight aggregates. *Construction and Building Materials*, 263, 120164. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.12.0164>
- Hincapi  Henao,  . M. y Montoya G ez, Y. de J. (2012). La microestructura de los prefabricados de concreto. *Revista Universidad EAFIT*, 41(140), 95-105. <https://publicaciones.eafit.edu.co/index.php/revista-universidad-eafit/article/view/825>
- Kazemi, M., Courard, L. y Attia, S. (2023). Water permeability, water retention capacity, and thermal resistance of green roof layers made with recycled and artificial aggregates. *Building and Environment*, 227, 109776. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109776>
- Mannu, A., Ferro, M., Pietro, M. E. D. y Mele, A. (2019). Innovative applications of waste cooking oil as raw material. *Science Progress*, 102(2), 153-160. <https://doi.org/10.1177/00368504198542>
- Maritan, L., Nodari, L., Mazzoli, C., Milano, A. y Russo, U. (2006). Influence of firing conditions on ceramic products: Experimental study on clay rich in organic matter. *Applied Clay Science*, 31(1-2), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2005.08.007>
- Mlih, R., Bydalek, F., Klumpp, E., Yaghi, N., Bol, R. y Wenk, J. (2020). Light-expanded clay aggregate (LECA) as a substrate in constructed wetlands – A review. *Ecological Engineering*, 148, 105783. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105783>
- Molineux, C. J., Gange, A. C., Connop, S. P. y Newport, D. J. (2015). Using recycled aggregates in green roof substrates for plant diversity. *Ecological Engineering*, 82, 596-604. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.05.036>
- Morseletto, P. (2020). Targets for a circular economy. *Resources, Conservation and*

- Recycling*, 153, 104553.
<https://doi.org/10.1016/j.rescon-rec.2019.104553>
- Nkansah, M. A., Christy, A. A., Barth, T. y Francis, G. W. (2012). The use of lightweight expanded clay aggregate (LECA) as sorbent for PAHs removal from water. *Journal of Hazardous Materials*, 217-218, 360-365.
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.03.038>
- Ozguven, A. y Gunduz, L. (2012). Examination of effective parameters for the production of expanded clay aggregate. *Cement and Concrete Composites*, 34(6), 781-787.
<https://doi.org/10.1016/j.cemcon-comp.2012.02.007>
- Papadopulos, F., Spinelli, M., Valente, S., Foroni, L., Orrico, C., Alviano, F. y Pasquinelli, G. (2007). Common Tasks in Microscopic and Ultrastructural Image Analysis Using ImageJ. *Ultrastructural Pathology*, 31(6), 401-407.
<https://doi.org/10.1080/01913120701719189>
- Ponce, J. M. (2003). Estudio de un método para evaluar el deterioro del hormigón afectado por la RAS. *Ciencia y Tecnología del Hormigón*, (10), 17-26. <http://hdl.handle.net/11746/437>
- Rashad, A. M. (2018). Lightweight expanded clay aggregate as a building material – An overview. *Construction and Building Materials*, 170, 757-775.
<https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.009>
- Rodrigues, A. V. y Bragan a, S. R. (2023). Technological properties of a self-bloating clay and expanded-clay aggregate for the production of lightweight concrete. *Cerámica*, 69(389), 6-16.
<https://doi.org/10.1590/0366-69132023693893308>
- Serra, M. F., Conconi, M. S., Suarez, G., Agietti, E. F. y Rendtorff, N. M. (2013). Firing transformations of an argentinean calcareous commercial clay. *Cerámica*, 59(350), 254-261.
<https://doi.org/10.1590/S0366-69132013000200010>
- Soltan, A. M. M., Kahl, W.-A., Abd EL-Raouf, F., Abdel-Hamid El-Kaliouby, B., Abdel-Kader Serry, M. y Abdel-Kader, N. A. (2016). Lightweight aggregates from mixtures of granite wastes with clay. *Journal of Cleaner Production*, 117, 139-149.
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.017>
- Sosa Fabr , E. N., Mocciano, A., Conconi, M. S. y Rendtorff, N. M. (2022). Desarrollo de fases cristalinas en agregados cerámicos livianos en fase oxidada y fase reducida. En G. Pozo López, M. C. Blanco y V. C. Fuertes (Comps.). *Libro de Resúmenes XVII Reunión Anual de la Asociación Argentina de Cristalografía X Taller "Aplicaciones de la Cristalografía en Ciencias de la Tierra"*. Desarrollo de fases cristalinas en agregados cerámicos livianos en fase oxidada y fase reducida (p. 80). Universidad Nacional de Córdoba.
<http://hdl.handle.net/11086/546303>
- Toledo, R., Dossantos, D., Fariajr, R., Carrio, J., Auler, L. y Vargas, H. (2004). Gas release during clay firing and evolution of ceramic properties. *Applied Clay Science*, 27(3-4), 151-157.
<https://doi.org/10.1016/j.clay.2004.06.001>